DOI:10.11931/guihaia.gxzw201905013

不同产地降香黄檀种子和幼苗性状的变异研究

葛玉珍[1]，梁惠凌[1]，蒋国秀[2]，韦宇静[1]，黄仕训[1*]

（1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所，广西 桂林 541006；2. 桂林市林业科学研究所，广西 桂林 541002）

摘 要：为了探讨不同产地降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)种子和幼苗的表型性状变异规律及其与地理—气候因子的关系，以来源于海南、福建、广西、广东等省区 10 个产地降香黄檀的种子及在广西桂林培育的幼苗为试验材料，采用方差分析、相关性分析和主成分分析对其种子和幼苗生长的 9 个表型性状进行了比较研究。结果表明：降香黄檀种子和幼苗的表型性状存在较大变异，9 个性状间均差异极显著，各性状平均变异系数（CV）为 12.50%，变异系数范围在 7.94%～18.89%，幼苗生长性状的变异高于种子性状的变异，说明种子性状的稳定性较高。相关分析表明，各表型性状间及表型性状与地理—气候因子间均存在不同的相关性，各表型性状与经度、纬度及年降水量均无显著相关性，而海拔、年均温度与年降雨量是影响降香黄檀种子和幼苗性状的主要因子。利用主成分综合得分法，筛选出了 3 个在种子形态、幼苗生长和萌发情况等方面较好的家系，按综合得分排序分别为仙游产地、儋州产地、尖峰岭产地。研究结果可为降香黄檀优良种质资源的筛选提供科学依据。

关键词：降香黄檀，种子，幼苗性状，地理气候因子，相关性

中图分类号：Q944.3　　　　**文献标识码：**A

Geographic variation of seed and seedling traits of *Dalbergia odorifera* from different places

GE Yuzhen[1], Liang Huiling[1], Jiang Guoxiu[2], Wei Yujing[1], Huang Shixun[1*]

(1.*Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Science*, Guilin 541006, Guangxi, China ; 2. *Guilin Institute of Forestry Science*, Guilin 541002, Guangxi, China)

Abstract: To reveal variation rule of phenotypic traits of seed and seedling of *Dalbergia odorifera* from different places and their relation with geographic- climatic factors，taking seeds from ten locations of Hainan, Fujian, Guangxi and Guangdong and the seedlings cultivated in Guilin as experimental materials, Variance analysis, correlation analysis and principal component analysis were used to analyze nine phenotypic traits of seed and seedling growth. The results showed that there was considerable variability in the phenotypic traits of *D.odorifera* seeds and seedlings, and the differences among the nine phenotypic traits were highly significant. The average coefficient of variation (CV) of each trait was 12.50%, ranging from 7.94% to 18.89%. The variation of seedling growth traits was above that of seed traits, showing that the seed traits had higher stability.

基金项目： 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科能 1598025- 45) [Supported by Guangxi Science Research and Technology Development Project (1598025- 45)] 。

作者简介：葛玉珍(1982 -)，女，广西桂林人，硕士，助理研究员，从事植物栽培与良种选育工作，（E-mail）geyuzhen@163.com。

*__通信作者：__黄仕训，研究员，主要从事珍稀濒危植物迁地保护研究工作，（E-mail）hsx@gxib. cn。

Relevant analysis showed that there were separate correlations between phenotypic traits, phenotypic traits and geographic-climatic factors. There was no notable correlation between phenotypic traits and longitude, latitude and annual precipitation. Altitude, annual average temperature and annual rainfall were the major factors affecting the traits of *D.odorifera* seeds and seedlings. Three families with better seed morphology, seedling growth and germination were screened out by principal component comprehensive score method on which the families were confirmed in growing areas of Xianyou, Danzhou and Jianfengling.

Key words: *Dalbergia odorifera*, seed, seedling traits, geographical ecologial factors, correlation

降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)为蝶形花科黄檀属常绿半落叶乔木，原产于我国海南省的东方、乐东、昌江、三亚等地区，广东、广西和福建南部等地从 20 世纪 60 年代后期陆续引种栽培（倪臻等，2008；姚庆端等，2013）。降香黄檀的木材结构致密，花纹美观，是制作高档家具的上等用材；其树干和根部的干燥心材可药用，有降压、行气活血、止痛止血的功效。由于降香黄檀经济用途的价值突显，其野生资源已遭到毁灭性的破坏，物种濒于灭绝，已列为国家二级重点保护野生植物（杨新全等，2007）。因此，保护现有降香黄檀野生资源，大力发展降香黄檀人工栽培，具有重要的生态和经济意义。近年来随着珍贵树种在南部地区的大力推广，降香黄檀种植面积逐年增加，人工造林大部分采用种子播种育苗，基本上都没有进行良种筛选，存在种苗质量参差不齐，苗木生长分化严重等现状，急需选择优良家系以提高降香黄檀的栽培效益。

目前，对降香黄檀的研究主要在引种栽培（郭文福和贾宏炎，2006；陈水莲等 2015, Wei & Chen，2017）、播种育苗（俞建妹等，2010；杨峰等，2012； Liu et al., 2017）、抗逆性（贾瑞丰等，2013；杨振德等，2014；）、病虫害（陈彧等，2017；向涛和崔龙箫，2018）等方面。近年来在降香黄檀优良种源（家系）筛选研究方面，陈英强（2015）对 6 a 生试验林的降香黄檀生长指标进行综合分析，初步筛选出适合闽南沿海地区种植的优良家系 10 个；麻永红等（2017）和梁远楠等（2019）分别对不同家系的降香黄檀进行了苗木生长评价，张博宇等（2018）对不同产地的降香黄檀幼苗进行了抗寒性试验，为降香黄檀耐寒种质的选育提供实验依据。尽管如此，对降香黄檀优良种源（家系）的研究还比较薄弱，采种地覆盖范围较窄。作者选择海南、福建、广东、广西等省区的 10 个产地的降香黄檀，研究了不同产地降香黄檀种子质量和幼苗生长状况的差异特征，以期为降香黄檀优良种质资源的筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料来自海南尖峰岭（JFL）、海南儋州（DZ）、广东普宁（PN）、广东肇庆（ZQ）、福建仙游（XY）、福建福州（ＦZ）、福建厦门(XM)、广西桂林（GL）、广西南宁（NN）、广西凭祥（PX）共 4 个省区 10 个产地的降香黄檀种子，各产地自然条件见表 1。采种于 2015 年 12 月至 2016 年 1 月期间（种子成熟期）。各产地采种植株均为 10~15 a 的树龄，选择 15 株以上优良母树采种，每株母树等量采集种子，混合后作为该种源的供试材料。降香黄檀育苗试验位于桂林市雁山镇的广西植物研究所苗圃（110°30′58.29″E ，25°07′78.65″N），于 2016 年 3 月进行播种试验及管护，采用随机区组试验设计，重复 3 次。

表 1 降香黄檀种子采集的不同产地生境概况

Table 1 Environmental situation of different places

编号 Number	产地 Places	经度 Longitude（E）	纬度 Latitude（N）	海拔 Altitude（M）	年均温 Annual average temperature（℃）	年降水量 Precipitation (mm)	参考文献 reference
1	尖峰岭国家森公园 Jianfengling National Forest Park	108°52′E	18°44′N	355	24.5	1 650	苏红华等，2018
2	儋州市 Danzhou	109°26′E	19°22′N	110	23.5	1 815	李君等，2016
3	福州植物园 Fuzhou Botanical Garden	119°30′E	26°15′N	78	19.6	1 342.5	黄以平，2013
4	仙游县书峰乡 Shufeng ,Xianyou	118°68′E	25°47′N	420	21	1 528.9	颜志勤，2015
5	厦门植物园 Xiamen Botanical Garden	117°74′E	24°45′N	78	20.8	1 513	颜佩楠等，2016
6	肇庆林科所 Zhaoqing Forestry Institute	112°47′E	23°09′N	150	21.2	1 650	陈水莲等，2016
7	普宁市 Puning	116°12′E	23°27′N	200	21.5	2 124	王德伟等，2018
8	凭祥大青山 Daqing Mountain, Pingxiang	106°75′E	25°02′N	235	21.5	1 400	农友等，2017
9	南宁马山县 Mashan , Nanning	108°20′E	23°50′N	110	21.3	1 667	周晓果等，2017
10	桂林会仙镇 Huixian , Guilin	110°22′E	25°02′N	180	18.8	1 894.4	张莹等，2016

1.2 研究方法

1.2.1 种子形态性状测量

将采集回来的降香黄檀荚果自然风干，揉搓荚果，将它的边缘清除。每个产地随机选取 30 粒降香黄檀种子，用电子游标卡尺分别测量种子长、种子宽和种子厚，3 次重复。随机抽取降每个产地 100 粒种子用电子天平称其质量，重复 8 次，计算种子千粒重。种子发芽率按照《林木种子检验规程》（GB2772—1999）的方法测定。

1.2.2 幼苗生长性状测量

2017 年 6 月，对 10 个不同产地降香黄檀苗木的生长状况进行数据采集。每个产地随机测量 30 株苗木的株高和地径，选取与平均地径接近的 3 株幼苗，分别称量其地上生物量和地下生物量。

1.3 数据处理和统计分析

数据统计用 Excel 2010 进行，运用 SPSS 24.0 软件进行方差分析和 Duncan 多重比较，对各个不同产地的种子和幼苗性状及其与各产地地理气候因子进行相关性分析，对各性状进行主成分分析（按照特征值大于 1 提取主成分）。

2 结果与分析

2.1 降香黄檀不同产地的种子和幼苗性状差异比较

对降香黄檀不同产地的种子长、种子宽、种子厚、千粒重、发芽率、株高、地径、地下生物量、地上生物量等 9 个种子和幼苗表型性状的测定结果得表 2。试验结果表明：降香黄檀的种子和幼苗性状均呈极显著差异，说明降香黄檀种子和幼苗性状在不同产地间存在较大的变异和丰富的多样性。其中，种子千粒重以尖峰岭的最大（80.7 g），是产于桂林的种子千粒重（60.52 g）的 1.34 倍。从各产地种子的种子长、种子宽和种子厚等种子形态性状来看，尖峰岭、儋州、凭祥等地的种子较大，而肇庆、普宁和桂林的种子显著小于其它产地的。发芽率最高的是厦门的种子，高达 91.66%，而凭祥的种子发芽率仅为 67.22%，为发芽率最低的种子产地。株高和地径以肇庆的最大，分别为 122.7 cm 和 9.85 cm，分别比平均值高 16.3% 和 26.4%，而最小的为福州产地的株高（90.2 cm）和地径（6.97 cm）。地下生物量和地上生物量以仙游的值为最大（8.68 g 和 58.2 g），分别为最小值（桂林产地）的 1.32 倍和 1.40 倍。

通过变异系数（CV）可以对不同表型性状间的变异程度进行比较，变异系数越大，表明性状的离散程度越大。降香黄檀不同产地种子和幼苗 9 个表型性状的变异系数（CV）见表 3。由表 3 可以看出：10 个产地的种子和幼苗性状平均变异系数在 6.43%～11.24%之间，其中，仙游产地的变异系数值最大为 11.24%，其余依次为尖峰岭＞桂林＞肇庆＞普宁＞福州＞儋州＞凭祥＞厦门＞南宁。降香黄檀 9 个种子和幼苗表形性状，平均变异系数在 7.94%～18.89%之间，变异系数最大的是株高，达到 18.89%，说明该性状在产地间的差异更明显，而种子长变异系数最小，为 7.94%，说明该性状在产地间的差异较小。

表 2 降香黄檀不同产地种子和幼苗表型性状的比较

Table2 Comparison on phenotypic traits of seed and seedling of *Dalbergia odorifera* from different places

性状	产地 Places											
Trait	JFL	DZ	FZ	XY	XM	ZQ	PN	PX	NN	GL	平均	F	P
SL	11.94± 0.72b	11.92± 0.40b	11.18± 1.02c	11.29± 0.42c	12.29± 0.67b	11.24± 0.69c	11.24± 0.69c	12.90± 0.85a	10.41± 0.48d	12.9± 0.85a	11.55± 0.92	11.868	**
SW	7.60± 0.51a	6.95± 0.42cd	6.84± 0.62cd	7.06± 1.04cd	8.03± 0.53a	6.59± 0.39d	6.59± 0.39d	7.19± 0.27bc	7.56± 0.31ab	7.19± 0.27bc	7.23± 0.66	7.521	**
ST	1.64± 0.07ab	1.77± 0.18a	1.65± 0.16ab	1.63± 0.21ab	1.36± 0.13c	1.59± 0.31ab	1.59± 0.31ab	1.72± 0.20a	1.50± 0.17bc	1.72± 0.2a	1.59± 0.21	4.314	**
TGW	80.70± 2.07a	79.08± 2.26bc	63.23± 1.25c	68.50± 1.85c	69.8± 1.47c	61.45± 1.12e	61.45± 1.12d	78.24± 1.36b	64.58± 1.60d	78.24± 1.36a	69.55± 7.31	167.579	**
GR	86.33± 2.03b	87.22± 0.96b	86.11± 2.55b	87.22± 3.47b	91.66± 2.89a	82.78± 2.55bc	77.78± 2.55d	67.22± 0.859cd	79.44± 0.96cd	69.44± 3.47e	81.52± 8.00	35.162	**
PH	101.6± 18.49bc	121.6± 21.71a	90.2± 16.07c	118.1± 20.17ab	90.9± 9.57c	122.7± 19.41a	95.0± 9.59c	105.9± 18.88bc	102.8± 18.12bc	105.7± 14.25bc	105.5± 19.92	4.912	**
GD	7.04± 0.85bc	8.27± 1.01b	6.97± 1.35a	8.05± 1.75ab	7.18± 0.64bc	9.85± 1.71a	7.20± 0.65bc	7.96± 1.20bc	7.77± 1.47bc	7.59± 1.40bc	7.79± 1.45	4.573	**
UB	7.97± 0.27ab	7.59± 0.39bc	7.06± 0.21bc	8.68± 1.14a	6.62± 0.24c	7.58± 0.65bc	7.76± 0.69ab	7.59± 0.52bc	7.50± 0.29bc	6.56± 0.46c	7.49± 0.76	3.843	*
AB	49.53± 2.95bc	57.70± 2.55a	45.65± 6.56bcd	58.20± 6.60a	40.26± 3.31d	50.86± 4.46ab	47.34± 5.99abc	45.91± 4.51ab	46.67± 2.61bcd	41.46± 3.43cd	48.37± 6.86	5.265	**

注： **SL**. 种子长；**SW**. 种子宽；**ST**. 种子厚；**TGW**.千粒重；**GR**.发芽率； **PH**. 株高；**GD**. 地径；**UB**. 地

下生物量；**AB**. 地上生物量。同行数据后不同字母表示差异显著（P＜0.05）。** 表示在 0.01 水平上显著相关；* 表示在 0.05 水平上显著相关。下同。

Note: **SL**. Seed length; **SW**. Seed width; **ST**. Seed thick; **TGW**. Thousand grain weight; **GR**. Germination rate; **PH**. Plant height; **GD**. Ground diameter; **UB**. Underground biomass; **AB**. Aboveground biomass. The row data marked with different letters indicated that significant differences（P＜0.05）. ** means significant correlation（P＜0.01）; * means significant correlation （P＜0.05）. The same below.

表 3 降香黄檀不同产地的种子和幼苗表型性状的变异系数（%）

Table3 Coefficient of variation of phenotypic traits of seed and seedling of *Dalbergia odorifera* from different places

性状 Trait	产地 Places										
	JFL	DZ	FZ	XY	XM	ZQ	PN	PX	NN	GL	平 均 Mean
SL	6.04	3.33	2.98	3.77	5.45	9.11	6.14	6.59	4.57	5.34	7.94
SW	6.73	6.10	3.07	14.77	6.61	9.06	5.87	3.71	4.06	6.45	9.16
ST	4.02	10.28	8.92	12.64	9.28	9.63	19.71	11.91	11.59	10.09	13.10
TGW	2.57	2.85	2.12	2.70	2.11	1.98	1.82	1.74	2.48	2.52	10.50
GR	1.02	1.10	2.96	3.98	3.15	3.08	3.27	2.72	1.21	4.99	9.89
PH	18.20	17.85	17.81	17.08	10.53	15.82	10.10	17.82	17.63	13.48	18.89
GD	12.15	12.21	19.41	21.73	8.97	17.31	9.07	15.08	18.94	18.46	18.67
UB	3.40	5.08	3.01	13.19	3.57	8.52	8.85	6.85	3.84	7.06	10.70
AB	5.97	6.15	14.37	11.33	8.22	8.77	12.65	9.82	5.58	8.24	13.64
平均 Mean	6.68	8.10	8.29	11.24	6.43	9.25	8.61	8.36	7.77	8.51	12.50

2.2 降香黄檀种子和幼苗性状间及其与地理—气候因子间的相关性分析

将降香黄檀种子和幼苗 9 个表型性状间及与产地地理因子和气候因子间进行相关性分析，结果见表 4。由表 4 中可以看出，降香黄檀的种子长与千粒重显著正相关，相关系数为 0.713；说明种子越长，种子质量就越大。种子厚与种子宽和株高分别呈显著负相关和显著正相关，相关系数为-0.659 和 0.743；株高与地径和地上生物量分别呈极显著正相关和显著正相关，相关系数分别为 0.837 和 0.755。说明生物量的积累受株高性状指标的影响较大，即株高值大的植株生物量水平也相应较高，而地径则与其他性状之间的相关性不显著。地下生物量与地上生物量呈极显著正相关，相关系数为 0.810。另外，种子发芽率与其他性状均无显著相关性。

种子和幼苗性状与地理—气候因子的相关性表明：种子性状中，种子宽与年降雨量呈显著负相关，相关系数为-0.661；千粒重与年均温呈显著正相关，相关系数为 0.722，说明年均温度越高的产地其种子千粒重值越大。幼苗性状中，海拔与地下生物量呈显著正相关，相关系数为 0.714，各性状与经度、纬度均无显著相关性。

表 4 降香黄檀种子和幼苗各表型性状及地理因子的相关分析

Table 4 Correlation coefficient between the seed and seedling traits of *Dalbergia odorifera* and geographical and environmental variables

因子 Factor	SL	SW	ST	TGW	GR	PH	GD	UB	AB

SL	1	0.201	0.268	0.713*	0.063	-0.050	-0.109	-0.054	-0.081
SW		1	-0.659*	0.350	0.467	-0.551	-0.472	-0.311	-0.402
ST			1	0.426	-0.326	0.743*	0.481	0.536	0.572
TGW				1	0.224	0.107	-0.154	0.268	0.326
GR					1	-0.017	-0.072	0.170	0.342
PH						1	0.837**	0.480	0.755*
GD							1	0.231	0.438
UB								1	0.810**
AB									1
Long	-0.239	0.030	-0.529	-0.622	-0.155	-0.296	-0.082	-0.281	-0.371
Lat	-0.195	0.137	-0.553	-0.366	0.538	-0.326	-0.228	0.004	-0.009
Alt	0.165	-0.268	0.501	0.291	-0.176	0.264	-0.036	0.714*	0.393
Pa	-0.331	-0.661*	0.220	-0.415	-0.219	0.109	0.007	0.086	0.059
Ta	0.337	-0.048	0.503	0.722*	0.333	0.271	0.041	0.530	0.518

注：Long. 经度；Lat. 纬度；Alt.海拔；Pa.年降水量；Ta.年均温。

Note: Long. Longitude; Lat. Latitude; Alt. Altitude; Pa. Annual precipitation; Ta. Annual mean temperature.

2.3 降香黄檀不同产地种子和幼苗表型性状的主成分分析和综合评价

2.3.1 降香黄檀不同产地种子和幼苗表型性状的主成分分析

为确定每个性状对降香黄檀种子和幼苗表型变异的影响程度，对降香黄檀 9 个表型性状进行了主成分分析的结果表明（表 5），主成分分析中前 3 个主成分的特征值＞1，前 3 个主成分的累计贡献率达 83.507%，基本反映了原指标的大部分信息，可以用这 3 个主成分代表原来的 9 个种子和幼苗性状进行分析和评价。其中第 1 主成分的代表性状为株高、地径、地下生物量和地上生物量，特征值为 3.873，贡献率为 43.036%，可以看作是幼苗生长水平的综合性状；第 2 主成分的代表性状为种子长、种子宽和千粒重，特征值为 2.121，贡献率为 23.569%，可以看作是种子形态和质量的综合性状；第 3 主成分中发芽率占有较大载荷，特征值为 1.521，贡献率为 16.901%，可以看作是萌发特性的性状。

表 5 降香黄檀不同产地种子和幼苗表型性状的主成分分析

Table 5 PCA of seed and seedling phenotypic traits in different *Dalbergia odorifera* places

性状 Trait	主成分分析 Principal components		
	PC1	PC2	PC3
SL	0.007	0.700	-0.601
SW	-0.679	0.547	0.260
ST	0.884	0.137	-0.389
TGW	0.205	0.929	-0.218
GR	-0.073	0.469	0.802
PH	0.917	-0.088	0.055
GD	0.705	-0.314	0.034
UB	0.707	0.251	0.316
AB	0.864	0.248	0.381
特征值 Eigenvalue	3.873	2.121	1.521
贡献率	43.036	23.569	16.901

Contribution rate (%)			
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	43.036	66.606	83.507

2.3.2 降香黄檀不同产地种子和幼苗表型性状的综合评价

上述 3 个主成分能综合反映 9 个降香黄檀种子和幼苗的性状。将主要性状指标原始数据进行标准化之后，计算 3 个主成分的得分，以所选主成分对应的特征值占 3 个特征值总和的比例为权重，算出不同产地降香黄檀种子和幼苗性状的综合评价得分值（F1，F2，F3），以各主成分的方差贡献率为权重，得出以下综合评价值 F 公式：F=0.515F1+0.282F2+0.202F3，计算不同产地降香黄檀的综合得分值，并对得分进行排序，以此来评价降香黄檀不同产地种子和幼苗性状的优劣。由表 6 可看出，10 个产地降香黄檀种子和幼苗性状从高到低依次为仙游＞儋州＞尖峰岭＞肇庆＞凭祥＞南宁＞普宁＞福州＞厦门＞桂林。以福建仙游产地综合得分最高，广西桂林产地综合得分最低。

表 6 各主成分得分及综合得分

Table 6 Scores and general scores of principal components of different treatments

产地 Places	F1	F2	F3	F	排序 Rank
JFL	0.026	0.421	0.036	0.482	3
DZ	0.671	0.249	-0.002	0.918	2
FZ	-0.532	0.059	0.129	-0.344	8
XY	0.647	0.081	0.279	1.007	1
XM	-0.873	0.240	0.095	-0.539	9
ZQ	0.621	-0.292	0.083	0.411	4
PN	-0.009	-0.266	-0.046	-0.321	7
PX	0.198	0.286	-0.309	0.175	5
NN	-0.192	-0.219	0.159	-0.253	6
GL	-0.215	-0.457	-0.272	-0.945	10

3 结论与讨论

3.1 降香黄檀种子和幼苗性状的变异特征分析

植物的性状特征是受自身遗传多样性和生态环境的共同影响，是植物适应其生存环境的表现形式（刘丽丽等，2012），在本研究中，10 个产地的降香黄檀种子和幼苗的表型性状变异较大，种群间 9 个表型性状均差异极显著，这可能是降香黄檀对不同的环境所采取的适应性策略，这种现象与石蒜(*Lycoris radiate*)（杨志玲等，2010）、雷公藤（*Tripterygium*

wilfordii）（龙凤等，2016）等变异情况较类似。从表型性状的变异系数（CV）看，降香黄檀 9 个种子和幼苗性状的变异系数范围在 7.94%～18.89%，说明不同降香黄檀种子和幼苗存在着较大的遗传变异，在遗传选择方面具有较大的潜力。降香黄檀按照平均值由大到小依次排序为株高、地径、地上生物量、种子厚、地下生物量、千粒重、发芽率、种子宽、种子长。其中，株高和地径的种群内变异系数平均值较大，分别为 18.89%和 18.67%。种子宽和种子长的变异系数平均值较小，分别为 9.16%、7.94%。CV 值可反映表型性状的变异幅度，CV 值越大，表型性状的离散程度越大，CV 值越小表型性状越稳定。由此说明种子长和种子宽是较稳定的表型性状，而株高和地径在同一产地内变异较大，可能受环境影响较大。

3.2 降香黄檀种子和幼苗性状与地理—气候因子的相关性

地理和气候因子与植物的生长发育之间有着紧密的联系，不仅影响种子的发育，对林木生长也有很大的影响，不同的树种有其自身的变异规律。文冠果（*Xanthoceras sorbifolium*）的种子和幼苗性状变异主要受海拔和年均日照的地理气候因子影响（于丹等，2018）。刘雄盛等（2017）研究表明，海拔是影响江南油杉(*Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis*)种子和果实的主要环境因子。林玮等（2016）发现任豆(*Zenia insignis*)种子大小具有一定的纬度向变异，年均温度和降雨量是影响种子大小的主要气候因子。暴马丁香（*Syringa reticulate* subsp. *Amurensis*）不同种源种子和幼苗表型性状与无霜期、年均温和海拔相关（杨晓霞等，2016）。从降香黄檀种子和幼苗性状与地理—气候因子间的相关性分析结果来看，种子宽与年降雨量呈显著负相关；千粒重与年均温呈显著正相关，海拔与地下生物量呈显著正相关。说明海拔、年均温度与年降雨量是影响降香黄檀种子和幼苗性状的主要因子。姚庆端等（2013）认为，影响降香黄檀在福建引种栽培的气候主导因子是年均气温、年日照时数和海拔高度，此结果与本研究相似。因此，在进行降香黄檀优良种源选择和引种栽培时应把年均温度和海拔高度作为优先考虑的环境气候因素。

3.3 降香黄檀种子和幼苗性状的综合评价

主成分分析是将多个评价指标简化为少数几个相互独立的综合评价指标，用少数变量尽可能多地反映原变量的信息从而使评价结果更加科学、客观、准确（林海明和杜子芳，2013）。莫昭展等（2007）利用主成分分析法对 11 个银杏（*Ginkgo biloba*）种子性状的指标进行分析，确定了各品种的重要性状指标。陈嘉静等（2018）以 8 个不同种源刨花楠（*Machilus pauhoi*）苗木为对象，采用主成分分析方法对其苗期形态、生理等 13 个指标进行综合比较，筛选出适合各种功能的优良种源。杜天宇等（2018）对核桃（*Juglans regia*）坚果的 9 个主要性状进行主成分分析评价，筛选出 10 个优良单株。因此，利用主成分分析法进行综合评价已成了解决林业生产实际问题的重要方法之一。本研究旨在为评选降香黄檀优良家系提供理论依据，综合选择了种子长、种子宽、种子厚、千粒重、发芽率、株高、地径、地下生物量、地上生物量等 9 个种子和幼苗性状，建立了包含多项指标的综合质量评价体系。利用主成分综合得分法，筛选出了 3 个在种子形态、幼苗生长和萌发情况等方面较好的家系，按综合得分排序分别为仙游产地、儋州产地、尖峰岭产地。本研究仅依据降香黄檀种子和幼苗性状进行了家系选择，缺乏对应的木材性状分析，而且对于幼苗性状仅在幼龄期阶段，选择的结果仅仅是早期表现。因此，对降香黄檀展开生长性状与木材材性的联合选择，将更有利于降香黄檀种质资源的全面筛选和利用，同时由于树木生长的复杂性，建议开展中期及晚期的追踪研究，以期获得更加稳定的优良家系。

参考文献：

CHEN JJ, ZHONG QL, CHEN DL, et al.，2018. Comparison of traits and the quality comprehensive evaluation of *Machilus pauhoi* provenances at the seedling stage [J]. J Anhui Agric Univ, 2018, 45(4): 638-644.［陈嘉静，钟全林，程栋梁，等，2018. 刨花楠种源苗期

性状比较及其质量综合评价[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(4): 638-644.]
CHEN SL，LIANG YN，ZHOU Y，et al.， 2015. Study on introducing and cultivating technology of *Dalbergia odorifera* in west Guangdong [J]. Guangdong For Sci Technol, 31(6): 101- 104.［陈水莲，梁远楠，周莹等，2015. 粤西降香黄檀引种栽培技术[J]. 广东林业科技， 31（6）：101-104.］
CHEN SL, LIANG YN, ZHOU Y, et al., 2016. Study on the relationship between heartwood and tree age of *Dalbergia odorifera* [J]. S China Agric, 10(4):43-45.［陈水莲, 梁远楠, 周莹, 等, 2016. 降香黄檀心材与树龄关系研究[J]. 南方农业, 10(4):43－45.］
CHEN YQ. 2015. Research on introduction experiment of *Dalbergia odorifera* T. Chen superior families selection [J]. J Fujian For Sci Technol, 42（2），84-89.［陈英强，2015. 降香黄檀不同家系的生长性状测定与初步选择[J].福建林业科技，42（2），84-89.］
CHEN Y, LI DQ, ZHOU GY, et al., 2017. Isolation, screening and identification of endophytic bacteria antagonistic to *Dalbergia odorifera* anthracnose [J]. Trop For, 45(1): 38- 40.［陈彧，李冬琴，周国英，等，2017. 降香黄檀炭疽病拮抗细菌的分离筛选及鉴定[J].热带林业，45(1)：38-40.］
DU TY, HU QF, WANG XY, et al., 2018. The studies on walnut principal component analysis and superior variety selection [J]. J Inner Mongolia Agric Univ (Nat Sci Ed), 39（2）：34-45. [杜天宇，胡去非，王相媛，等，2018. 核桃坚果主成分分析及优株筛选研究［J]. 内蒙古农业大学学报（自然科学版），39（2）：34-45.］
GUO WF, JIA HY, 2006. The introduction of *Dalbergia odorifera* in southern subtropical area of Guangxi [J]. J Fujian For Sci Technol, 33（4）：152- 155.［郭文福，贾宏炎，2006. 降香黄檀在广西南亚热带地区的引种[J].福建林业科技，33（4）：152-155.］
HUANG YP, 2013. Research on native flora in Fuzhou botanical garden [J]. J Fujian For Sci Technol,40(3): 14-17.［黄以平，2013. 福州植物园原生植物区系研究[J].福建林业科技，40（3）：14-17. ］
JIA RF, XU TP, YANG ZJ, et al.，2013. Photosynthesis physiological characteristics of *Dalbergia odorifera* seedings under drought stress [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 33(6): 1197-1202.［贾瑞丰，徐大平，杨曾奖，等. 2013.干旱胁迫对降香黄檀幼苗光合生理特性的影响[J].西北植物学报，33(6): 1197-1202.］
LI J, LAN GY, LI YW, et al., 2016. Comparison on soil micro flora in rubber forest and tropical secondary forest in Danzhou, Hainan island [J]. Chi J Trop Crop, 37（3）：433-438.［李 君，兰国玉，李玉武，2016.海南儋州橡胶林与热带次生林土壤微生物区系研究[J].热带作物学报，37（3）：433-438.］
LIANG YN, CHEN SL, ZHANG LJ, et al., 2019. Early growth evaluation of 10 *Dalbergia Odorifera* families in Zhaoqing [J]. For Environ Sci, 35(2)106-110.[梁远楠，陈水莲，张丽君等，2019. 10 个降香黄檀家系在肇庆地区的早期生长评价[J].林业与环境科学，35(2)106-110.］
LIN HM, DU ZF, 2013. Some problems in comprehensive evaluation in the principal component analysis [J]. Statistical Res, 30（8）：25-31.［林海明，杜子芳，2013. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J].统计研究，30（8）：25-31.］
LIN W, ZHOU P, ZHOU XB, et al., 2016. Geographic variation in seed traits of different *Zenia insignis* provenances [J]. J S Chin Agric Univ, 37(4) : 69-74.［林玮，周鹏，周祥斌，等，2016. 任豆种源种子性状地理变异研究［J］. 华南农业大学学报，37(4) : 69-74. ］
LIU LL, WANG EF, LI JH, 2012. Study on morphological variation in seeds of *Torreya jackii*, an

endangered plant in China [J]. Seed, 31(1)：31-33.［刘丽丽，汪恩锋，李建辉，2012. 濒危植物长叶榧种子形态变异研究[J]. 种子，31(1)：31-33.］

LIU XJ, XU DP, YANG ZJ, et al., 2017. Geographic variations in seed germination of *Dalbergia odorifera* T. Chen in response to temperature [J]. Indust Crop Prod, 102:45-50.

LIU XS，JIANG Y，HUANG RL，et al．2017. Variation in traits of cone and seed of *Keteleeria fortunei* var. *cyclolepis* and its relationship with environmental factors［J］．Guihaia，37(1) : 118-126．[刘雄盛，蒋燚，黄荣林，等，2017. 江南油杉种实性状变异及其与环境因子的关系［J］．广西植物，37(1) : 118-126. ］

LONG F, YU CQ, WU CZ, et al., 2016. Phenological characteristics of *Tripterygium wilfordii* Hook. f. of different provenances[J]. Chin J Appl Environ Biol, 22 (4) : 660-666.［龙 凤，余传琼，吴承祯，等，2016. 不同种源雷公藤叶物候特征比较［J］. 应用与环境生物学报，(4) : 660 －666.］

MA YH, JIA RF, YANG ZJ, et al., 2017. Early growth evaluation on six-year-old *Dalbergia odorifera* T. Chen families [J]. J Centr S UnivFor Technol, 37(8):42-47.［麻永红，贾瑞丰，杨曾奖，等，2017. 6 年生不同家系降香黄檀早期生长评价[J]. 中南林业科技大学学报，37（8）:42-47.］

MO ZZ, CAO FL, FU YL, et al., 2007. Character variation and principal component analysis of Ginkgo cultivar seeds [J]. J Anhui Agric Sci, 35(34): 11096-11100. [莫昭展，曹福亮，符韵林，等，2007. 银杏栽培品种种子性状的变异及主成分分析 [J]. 安徽农业科学，35(34): 11096-11100.]

NI Z, WANG LH, WU GX, et al.，2008. A review of studies on the introduction and cultivation technology of *Dalbergia odorifera* [J]. J Fujian For Sci Technol, 37(4): 197-199.［倪臻，王凌晖，吴国欣，等，2008. 降香黄檀引种栽培技术研究概述[J]. 福建林业科技，37(4):197-199.］

NONG Y, LU LH, SUN DJ, et al., 2017. The natural regeneration of karst plantation of *Dalbergia odorifera* [J]. J Centr S Univer For Technol, 37（3）：63-68.［农友，卢立华，孙冬婧，等，2017. 岩溶石山降香黄檀人工林的天然更新[J]. 中南林业科技大学学报，37（3）：63-68.］

SU HH, WANG H, CHEN ZJ, et al., 2018. The characteristics of species composition, structure and diversity of tropical semi-deciduous forest in Jianfengling, Hainan island [J]. For Environ Sci, 34（6）：21-27. [苏红华，王红，陈宗杰，等，2018.海南尖峰岭热带半落叶季雨林物种组成、结构及其多样性特征[J].林业与环境科学, 34（6）：21-27.]

WANG DW, TANG XM, CHEN XX, et al., 2018. Resource investigation of medicinal plant in PuNing city [J]. Guangdong Chem Ind, 381（45）：183-185.［王德伟，唐晓敏，程轩轩，等，2018. 普宁市药用植物资源调查[J]. 广东化工，381（45）：183-185.］

WEI LG, CHEN X. 2017. Growth, biomass accumulation and foliar nutrient status in fragrant rosewood (*Dalbergia odorifera* T.C. Chen) seedlings cultured with conventional and exponential fertilizations under different photoperiod regimes [J]. Soil Sci Plant Nut, 63(2): 153-162.

XIANG T, CUI LX. A survey of major pest insects and their natural enemies of *Dalbergia odorifera* plantations in Hainan [J]. Chin J Trop Agric, 38(11): 59-62.［向涛，崔龙箫. 2018. 海南降香黄檀人工林重要害虫及天敌种类调查[J]. 热带农业科学，2018，38（11），59-62.］

YAN PN, LI ZW, LI CR, et al., 2016. The discuss Xiamen botanical garden cactus and succulents special categorized plants gardens planning and design [J]. Fujian Archit Constr ,214（04）：40-44.［颜佩楠, 李兆文, 李传睿，2016. 浅谈厦门植物园仙人掌多肉植物专类园规划设计

[J]. 福建建筑，214（04）：40-44.］
YANG F, CHEN RL, LIU JP, et al., 2012. Callus Culture and Plant Regeneration of *Dalbergia odorifera* [J]. Chin Agric Sci Bull, 28(13)：70-75. [杨峰，陈仁利，刘进平，等，2012. 降香黄檀愈伤组织培养与植株再生研究[J]. 中国农学通报，28(13)：70-75.]
YANG XQ, FENG JD, WEI JIH, et al., 2007. Genetic diversity of China' s endangered medicinal plant *Dalbergia odorifera* [J]. World Sci Technol Modern Trad Chin Med Mat Med, 19(2): 73-76. [杨新全，冯锦东，魏建和，等，2007. 我国特有濒危药用植物降香黄檀遗传多样性研究[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 19(2)： 73-76.]
YANG XX, LENG PS, ZHENG J, et al., 2016. Variation of phenotypic traits of seed and seedling of *Syringa reticulata* subsp. *amurensis* from different provenances and their correlations with geographic- climatic factors [J]. J. Plant Resour Environ, 25(3) : 80-89.[杨晓霞，冷平生，郑健，等，2016. 暴马丁香不同种源种子和幼苗的表型性状变异及其与地理－气候因子的相关性［J］. 植物资源与环境学报，25(3):80－89.]
YANG ZD, ZHAO YY, YU ZS, et al.， 2014. The variations of physiological and root morphological characteristics of *Dalbergia odorifera* seedlings under drought stress [J]. J For Eng, 28(3): 63-66. [杨振德，赵岩岩，玉舒中，等，2014. 干旱胁迫对降香黄檀幼苗生理特性及根系形态特征的影响[J]. 林业科技开发，28(3)： 63-66.]
YANG ZL, YANG X, TAN ZF, et al., 2010. Variation in phenotypic characteristics and difference in phenological phases of different wild populations of *Lycoris radiata*[J]. Chin J Appl Environ Biol, 16(3) : 369 -375. [杨志玲，杨旭，谭梓峰，等，2010. 不同野生居群石蒜表型变异及物候期差异［J］. 应用与环境生物学报，16(3) ： 369－375. ］
YAN ZQ, 2015.Current situation and countermeasure of underforest economic development in Xianyou county, Fujian province [J]. Anhui Agric Sci Bull, 21(20):81-82,103. [颜志勤，2015. 福建省仙游县林下经济发展现状与对策[J]. 安徽农学通报，21（20）:81-82, 103.]
YAO QD, LIN QJ, ZHENG ZL, 2013. Study on *Dalbergia odorifera* suitable introduction regions in Fujian province [J]. J Fujian For Sci Technol, 39(2)：90- 94. [姚庆端，林清锦，郑志雷，2013. 福建省降香黄檀引种适宜区研究[J]. 福建林业科技，39（2）：90- 94.]
YU D, BI QX, ZHAO Y, et al., 2019. Geographic variation and excellent provenance selection in *Xanthoceras sorbifolium*[J]. J NE For Univ, 47(2): 12-16. [于丹，毕泉鑫， 赵阳，等，2019. 文冠果地理种源变异及优良种源筛选[J]. 东北林业大学学报，47(2)： 12-16.]
YU JM, LI FS, LIU XL, et al., 2010. Effects of plant growth regulators on seed germination and seedling growth of *Dalbergia odorifera* [J]. J Southern Agric, 41（7）：649- 652. [俞建妹，李付伸，刘晓璐，等，2010. 植物生长调节剂对降香黄檀种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 南方农业学报，41（7）：649- 652.]
ZHANG BY, GE YZ, WEI YJ, et al., 2013. Comparative study on cold resistance of seeding leaf of *Dalbergia odorifera* seeds from different places [J]. SW Chin J Agric Sci, 31(10)：2098-2103. [张博宇，葛玉珍，韦宇静，等，2018. 不同产地降香黄檀种子培育苗木叶片的抗寒性比较研究[J]. 西南农业学报，31(10)：2098-2103.]
ZHANG Y, LIU C, SHONG A, et al., 2016. Relationship between soil physicochemical properties and soil enzyme activities in Huixian karst wetland system based on canonical correspondence analysis [J]. Carsol Sin, 35（1）：11-18.[张莹，刘畅，宋昂，等，2016. 基于典范对应分析的会仙岩溶湿地土壤理化性质与土壤酶活性关系研究[J]. 中国岩溶，35（1）：11-18.]
ZHOU XG, LI JY, ZHU HG et al., 2017. Afforestation preserving rate and young plantation growth of different combating rock desertification models [J]. Guangxi Sci, 24（2）：175-181.

[周晓果，李隽宣，朱宏光，等，2017.不同石漠化治理模式的造林保存率及幼林生长分析[J].广西科学，24（2）：175-181.]